

サファイヤ基板上へのAIN単結晶薄膜の作製とそのSAW特性

著者	嘉屋 樹佳
号	2000
発行年	1996
URL	http://hdl.handle.net/10097/7273

氏 名	か や き よし
授 与 学 位	嘉 屋 樹 佳 博 士 (工学)
学位授与年月日	平成9年3月25日
学位授与の根拠法規	学位規則第4条第1項
研究科、専攻の名称	東北大学大学院工学研究科(博士課程)材料物性学専攻
学位論文題目	サファイア基板上への AlN 単結晶薄膜の作製とその SAW 特性
指 導 教 官	東北大学教授 平井 敏雄
論文審査委員	主査 東北大学教授 平井 敏雄 東北大学教授 藤森 啓安 東北大学教授 岡田 益男 東北大学教授 山之内 和彦 東北大学教授 坪内 和夫

論 文 内 容 要 旨

第1章 緒論

本研究は移動体通信機器のキーデバイスであるフロントエンドフィルタとしての SAW (Surface Acoustic Wave) フィルタへの応用を目指した AlN 薄膜の作製技術及びその等価回路パラメータの導出に関する研究である。

移動体通信機器の小型化・軽量化のキーデバイスであるフロントエンドフィルタとしての SAW フィルタは使用周波数の高周波化に伴って高周波化される必要がある。SAW フィルタの高周波化に必要とされるのは、その原理 ($F = V_s / \lambda$, V_s ; SAW 速度, λ ; SAW の波長) から、① IDT (Inter Digital Transducer) デザインルールの微細化、②高 V_s 材料の実用化、③高速モードの発見、などである。この中で、本研究では他の圧電体デバイスへの展開も考慮して、②高 V_s 材料の実用化、に焦点を絞った。

従来、SAW フィルタ用材料としては、LiNbO₃ 単結晶、LiTaO₃ 単結晶、水晶などが実用材料として用いられてきており、それらの V_s は 3000~4000m/s である。一方、サファイア基板上に成膜された ZnO 薄膜、AlN 薄膜については実用材料を上回る V_s が報告されており、高周波化に適した材料であると言われている。本研究では、圧電体材料の中で最も高速の V_s が報告されている AlN 薄膜に注目し、この材料を SAW フィルタを含めた SAW デバイスの実用材料とすることを目的とした。

AlN 薄膜を実用材料とする上での課題は、① AlN 薄膜の結晶性・均質性の向上、②中心周波数の温度特性 (τ_f) の把握、③フィルタ設計のための等価回路パラメータの導出、④大面積化技術の確立、である。これらのうち、本研究では①②③を取りあげる。

まず、AlN 薄膜の作製技術の第1段階として、固体原料 (AlCl₃) を用いた CVD 法において CVD 条件が AlN 薄膜の物性、とくに配向性に与える影響を検討する。次に、CVD 法において各種サファイア基板上への AlN 薄膜の作製を試み、AlN 薄膜の高配向性と低酸素濃度が V_s と τ_f の AlN 膜厚依存性に与える影響を明らかにする。これらの結果をもとに AlN/サファイア R 面系における等価回路パラメータを実験的に導出する。

第2章 AlCl₃-NH₃ 系 CVD 法によるグラファイト基板上への配向性 AlN 薄膜の作製

本章では、AlCl₃-NH₃-H₂ ガス系を用いた CVD 法により、グラファイト基板上に AlN 薄膜の合成を試み、AlN 薄膜

の組成、結晶性特に配向性、不純物濃度、表面組織に及ぼす基板温度と炉内全圧力の影響を調べた。

AlN 薄膜の表面組織は、基板温度の上昇と炉内全圧力の減少に伴って、粉末状→ペブル状→ファセット状と変化した。NH₃/AlCl₃ 供給量比=12、炉内全圧力=4kPa の条件下では、基板温度が 873~1373K の範囲において、塩素不純物濃度は基板温度の上昇とともに減少し 1173K 以上では検出されなかった。同様に格子定数も基板温度上昇に伴って減少し 1173K 以上では JCPDS の値とほぼ一致した。AlN 薄膜の優先的な配向性は基板温度の上昇と炉内全圧力の低下に伴って、(001) → (101) → (110) と変化することが明らかとなった。

以上のことから、① AlN 薄膜の作製には AlCl₃ という固体原料を用いた CVD 法が可能であること、②高純度の薄膜を作製するためには 1173K 以上の基板温度が必要であること、③薄膜の配向性は基板の格子情報のみならず CVD 条件によっても制御がある程度可能であること、が示された。

第3章 AlCl₃-NH₃-H₂-N₂ 系 CVD 法によるサファイア基板上への AlN 薄膜の作製

本章では、AlCl₃-NH₃-H₂-N₂ ガス系を用いた CVD 法によりサファイア R 面、C 面、A 面上に AlN 薄膜の合成を試み、最適化された CVD 条件下で、結晶性、表面組織、不純物、深さ方向分析、屈折率、SAW 速度及び中心周波数の温度特性の AlN 薄膜膜厚依存性を調べた。

最適化された条件下で得られた結晶配向関係は各々以下のものであった。

(110)[001]AlN//[012][0-11]Al₂O₃ (AlN/サファイア R 面)

(001)[1-10]AlN//[001][110]Al₂O₃ (AlN/サファイア C 面)

(001)[1-10]AlN//[110][001]Al₂O₃ (AlN/サファイア A 面)

X線ロックアップカーブの FWHM(Full Width at Half Maximum)はサファイア R 面上においては AlN 膜厚の増加に伴って減少し 0.22° に収束し、サファイア C 面、R 面上においては AlN 膜厚の増加に伴って 0.3~0.4° の範囲でわずかに増加することを示した。極点図形はいずれの系においても斑点を示し、エピタキシャル成長であることが示されている。AES による深さ方向分析測定から 1atm%以下の酸素不純物が検出された以外は塩素等の不純物は検出されなかった。

以上のことから本研究における CVD 法により、高配向性かつ高純度の AlN 薄膜が作製されたことが示された。

SAW 特性 (V_s , τ_f) の AlN 膜厚依存性が以下の伝搬方向について測定された。

[001](110)AlN/[0-11](012)Al₂O₃ (AlN/サファイア R 面)

[1-10](001)AlN/[110](001)Al₂O₃ (AlN/サファイア C 面)

[1-10](001)AlN/[001](110)Al₂O₃ (AlN/サファイア A 面)

[110](001)AlN/[1-10](110)Al₂O₃ (AlN/サファイア A 面)

AlN/サファイア R 面系、C 面系、A 面系[1-10] Al₂O₃ 伝搬において、 V_s の実験値は理論的予測値にほぼ一致し Rayleigh 波であることが示された。A 面系[001] Al₂O₃ 伝搬における V_s の実験値は Rayleigh 波に関する理論的予測値から大きく異なり、 $kh(k=2\pi/\lambda, h$; AlN 膜厚)に対してほぼ一定の値を示した。この SAW モードの特定はできていない。AlN/サファイア R 面系、A 面系における τ_f の kh 依存性はほとんど同様な傾向を示し、 $kh=0.7\sim6.4$ の範囲で kh の増加に伴って -60ppm/degree 付近から単調増加し、

-16ppm/degree 付近に漸近する。AlN/サファイア C 面系における τ_f の kh 依存性は $kh=0.7\sim3.0$ の範囲で kh の増加に伴って、-66ppm/degree から -48ppm/degree まで単調に増加する。AlN/サファイア R 面系においては高配向性かつ低酸素濃度の AlN 薄膜、低配向性かつ高酸素濃度の AlN 薄膜の τ_f の kh 依存性を検討した結果、本研究において、い

ずれの伝搬方向においても τ_f が kh に対して単調に増加する傾向を示したのは、① AlN 薄膜の高配向性、② AlN 薄膜の低酸素不純物濃度、によるものであると考えられる。

以上の結果から、AlN/サファイア系の中で AlN/サファイア R 面系材料がフロントエンドフィルタ用材料として最適であると判断された。

第4章 サファイア R 面上に作製した AlN 薄膜の等価回路パラメータの実験的導出

本章では、サファイア R 面上に CVD 法により作製した高配向性かつ低酸素不純物濃度の AlN 薄膜の $[001]\text{AlN}/[0-11]\text{Al}_2\text{O}_3$ 伝搬の Rayleigh 波に関する等価回路パラメータ、すなわち、電気機械結合定数 (K^2)、拘束容量 (C_s)、音響インピーダンス (Z)、規格化サセプタンス (B/Y_0) が実験的に求められている。

K^2 と C_s は正規型 IDT を用いたアドミッタンス測定により、 K^2 は $kh \geq 2$ において 0.63% と見積もられ、 C_s は $(\lambda/2)/(\lambda/4 + \lambda/4 - \lambda)$ 比 (a/p 比) が 0.5 の時に 46.3 pF/m と見積もられた。 Z と B/Y_0 は Wright の方法により求められ、それぞれ a/p 比ごとに H/λ を変数とする関数で示すことができた。これらのパラメータが導出されたことにより、等価回路シミュレーションによるこの材料系を用いた SAW フィルタの設計が可能となった。

第5章 総括

本研究は AlN 薄膜を SAW フィルタ用の実用材料とすることを目的とし、 AlCl_3 と NH_3 を原料とする CVD 法により、グラファイト基板及びサファイア基板上に AlN 薄膜の作製を試み、さらに AlN/サファイア R 面系における等価回路パラメータの導出を行ったものである。

最適化された CVD 条件下において各種サファイア基板上に高配向性かつ低酸素濃度のエピタキシャルな AlN 薄膜を作製でき、それにより V_s と従来明確ではなかった τ_f の kh 依存性を明らかにした。その結果から SAW フィルタ用材料として最適と考えられた AlN/サファイア R 面系における等価回路パラメータの導出を実験的に行い、SAW 速度 (V_s)、中心周波数の温度特性 (τ_f) に加えて電気機械結合定数 (K^2)、拘束容量 (C_s)、音響インピーダンス (Z)、規格化サセプタンス (B/Y_0) が求められ、この系における SAW フィルタの設計が可能となった。

審査結果の要旨

本研究は移動体通信機器のキーデバイスであるフロントエンドフィルタとしての表面弾性波（SAW）フィルタへの応用を目指した AlN 薄膜の作製技術及びその等価回路パラメータの導出に関するものであり、全編 6 章よりなる。

第 1 章は緒論であり、本研究の背景と目的を述べている。

第 2 章では、 $\text{AlCl}_3\text{-NH}_3\text{-H}_2$ ガス系を用いた CVD 法によるグラファイト基板上への AlN 多結晶薄膜の作製方法と薄膜の構造に及ぼす作製条件の影響について述べており、高純度の薄膜を得るためには 1173K 以上の基板温度が必要であることと CVD 条件によって結晶配向性の制御が可能であることを明らかにしている。

第 3 章では、 $\text{AlCl}_3\text{-NH}_3\text{-H}_2\text{-N}_2$ ガス系を用いた CVD 法によりサファイア R、C、A 面上に AlN 単結晶薄膜を作製し、最適化された CVD 条件下で作製された AlN 薄膜の結晶性、表面組織、不純物、屈折率及び SAW 特性について述べており、各材料系における SAW 速度と SAW フィルタにおける中心周波数の温度特性の AlN 薄膜膜厚依存性を明らかにしている。これらの結果から、高周波用の SAW フィルタには AlN/サファイア R 面系材料が適していることを示している。

第 4 章では、サファイア R 面上に CVD 法により作製された高配向性かつ低酸素不純物濃度の AlN 薄膜の Rayleigh 波に関する等価回路パラメータ、すなわち電気機械結合定数、拘束容量、音響インピーダンス、規格化サセプタンスを実験的に導出し、AlN/サファイア R 面材料系における SAW フィルタの設計を可能にしている。

第 5 章では本研究で得られた成果を総括している。

以上要するに、本論文は CVD 法によりサファイア基板上への AlN 単結晶薄膜の作製に成功し、SAW 速度と SAW フィルタの中心周波数温度特性の AlN 膜厚依存性を明らかにし、さらに等価回路パラメータを明らかにした成果をまとめたもので、材料物性学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士（工学）学位論文として合格と認める。